

BEST AVAILABLE COPY

**PRIORITY  
DOCUMENT**SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

REC'D 16 NOV 2004

WIPO PCT

# *Ministero delle Attività Produttive*

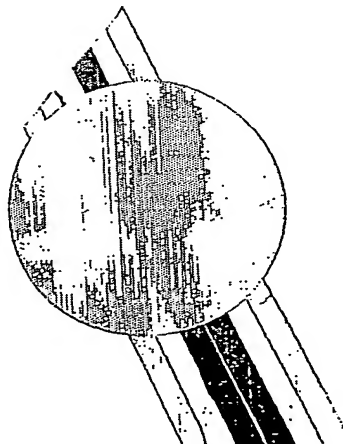
*Direzione Generale per lo Sviluppo Produttivo e la Competitività**Ufficio Italiano Brevetti e Marchi**Ufficio G2*

**Autenticazione di copia di documenti relativi alla domanda di brevetto per:  
Invenzione Industriale N° MI2003 A 001972 del 14.10.2003**

Si dichiara che l'unita copia è conforme ai documenti originali  
depositati con la domanda di brevetto sopra specificata, i cui dati  
risultano dall'accluso processo verbale di deposito.

Roma, li ... .. 3.0.10.6. 2004

IL FUNZIONARIO

**Sig.ra E. MARINELLI**

# AL MINISTERO DELLE ATTIVITÀ PRODUTTIVE

UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI - ROMA

DOMANDA DI BREVETTO PER INVENZIONE INDUSTRIALE, DEPOSITO RISERVE, ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO

MOD. 1



## A. RICHIEDENTE (I)

1) Denominazione NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.  
 Residenza MILANO codice 129 102 851 132  
 2) Denominazione \_\_\_\_\_  
 Residenza \_\_\_\_\_ codice \_\_\_\_\_

## B. RAPPRESENTANTE DEL RICHIEDENTE PRESSO L'U.I.B.M.

cognome nome \_\_\_\_\_ cod. fiscale \_\_\_\_\_  
 denominazione studio di appartenenza \_\_\_\_\_  
 via \_\_\_\_\_ n. \_\_\_\_\_ città \_\_\_\_\_ cap \_\_\_\_\_ (prov) \_\_\_\_\_

## C. DOMICILIO ELETTIVO destinatario

come sopra  
 via Bistolfi n. 35 città MILANO cap 20134 (prov) MI

## D. TITOLO

classe proposta (sez/cl/sci) \_\_\_\_\_ gruppo/sottogruppo \_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
CELLA A COMBUSTIBILE A MEMBRANA CON FUNZIONAMENTO STABILE NEL TEMPO

## ANTICIPATA ACCESSIBILITÀ AL PUBBLICO:

SI ☐ NO ☒

SE ISTANZA: DATA \_\_\_\_\_

N° PROTOCOLLO \_\_\_\_\_

## E. INVENTORI DESIGNATI

cognome nome

cognome nome

1) MERLO Luca 3) MAGGIORE Antonio  
 2) FACCHI Daniele 4) FAITA Giuseppe

## F. PRIORITÀ

nazione o organizzazione

tipo di priorità

numero di domanda

data di deposito

allegato  
S/R

SCIOGLIMENTO RISERVE

Data

N° Protocollo

1) \_\_\_\_\_  
 2) \_\_\_\_\_

## G. CENTRO ABILITATO DI RACCOLTA CULTURE DI MICRORGANISMI, denominazione

## H. ANNOTAZIONI SPECIALI

## DOCUMENTAZIONE ALLEGATA

N. es.

Doc. 1) 1 PROV n. pag. 27 riassunto con disegno principale, descrizione e rivendicazioni (obbligatorio 1 esemplare) ....  
 Doc. 2) 1 PROV n. tav. 5 disegno (obbligatorio se citato in descrizione, 1 esemplare) .....  
 Doc. 3) 1 RIS lettera d'incarico, procura o riferimento procura generale .....  
 Doc. 4) 1 RIS designazione inventore .....  
 Doc. 5) 1 RIS documenti di priorità con traduzione in italiano .....  
 Doc. 6) 1 RIS autorizzazione o atto di cessione .....  
 Doc. 7) 1 nominativo completo del richiedente

8) attestati di versamento, totale Euro 291,80

COMPILATO IL 09/10/2003

FIRMA DEL(I) RICHIEDENTE(I)

Michele Tettamanti, Direttore Generale

CONTINUA SI/NO no

DEL PRESENTE ATTO SI RICHIEDE COPIA AUTENTICA SI/NO si

CAMERA DI COMMERCIO IND. ART. E AGR. DI MILANO

MILANO

codice 15

VERBALE DI DEPOSITO

NUMERO DI DOMANDA

MI2003A 001972

Reg. A.

DUEMILATRE

QUATTORDICI

OTTOBRE

L'anno \_\_\_\_\_, il giorno \_\_\_\_\_, del mese di \_\_\_\_\_

Il(I) richiedente(i) sopraindicato(i) ha(hanno) presentato a me sottoscritto la presente domanda, corredata di \_\_\_\_\_ fogli aggiuntivi per la concessione del brevetto sopraportato.

## I. ANNOTAZIONI VARIE DELL'UFFICIALE ROGANTE

IL DEPOSITANTE

L'UFFICIALE ROGANTE

M. CORTONESE

RIASSUNTO INVENZIONE CON DISEGNO PRINCIPALE DESCRIZIONE E RIVENDICAZIONE

NUMERO DOMANDA

11/2003/100192

REG. A

DATA DI DEPOSITO

14/10/2003

NUMERO BREVETTO

DATA DI RILASCIO

11/11/1111

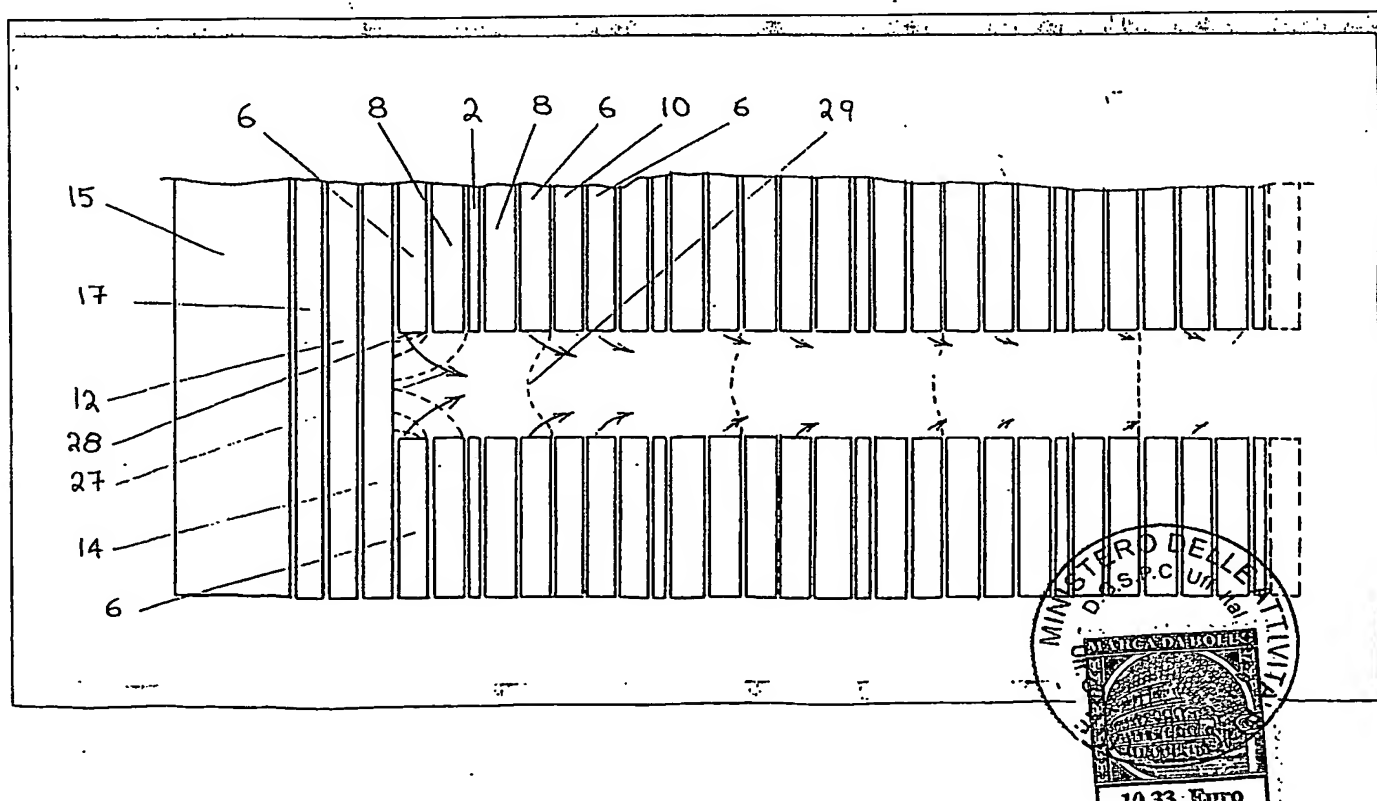
D. TITOLO

CELLA A COMBUSTIBILE A MEMBRANA CON FUNZIONAMENTO STABILE NEL TEMPO

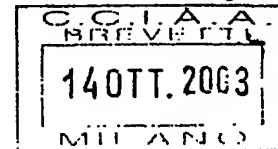
L. RIASSUNTO

L'invenzione descrive un nuovo disegno di stack di celle a combustibile a membrana ionomerica comprendente una molteplicità di piatti bipolari in acciaio inossidabile, elettrodi, membrane e guarnizioni perimetrali di tenuta racchiusi fra piastre di compressione. Il disegno innovativo è diretto a prevenire l'arricchimento di ioni metallici nelle membrane e il conseguente decadimento delle tensioni; a tale scopo, è impedita la migrazione laterale all'interno delle membrane ionomeriche degli ioni metallici contenuti nel fluido di raffreddamento.

M. DISEGNO



*My*



# DESCRIZIONE DI INVENZIONE INDUSTRIALE

A NOME: NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

## AMBITO DELL'INVENZIONE

L'invenzione è relativa ad un generatore elettrochimico di energia elettrica, ed in particolare ad uno stack di celle a combustibile a membrana polimerica.

## DESCRIZIONE DELLA TECNOLOGIA NOTA

MI 2003A001972

Le celle a combustibile sono note da tempo come dispositivo di conversione diretta in energia elettrica dell'energia chimica di combinazione di un combustibile come idrogeno e di un comburente come aria. Le celle a combustibile non soggiacciono alla nota limitazione del ciclo di Carnot e sono caratterizzate quindi da una efficienza particolarmente elevata se confrontata con quella dei dispositivi convenzionali di produzione di energia elettrica in cui è presente uno stadio termico intermedio.

Fra i vari tipi noti la cella a combustibile a membrana ionomerica scambiatrice di ioni (definita nel seguito per brevità con la sigla PEMFC da Proton Exchange Membrane Fuel Cell) ha guadagnato speciale attenzione per la capacità di seguire rapide richieste di potenza e per la semplicità dei sistemi ausiliari associati, in particolare in applicazioni automobilistiche e per la generazione di piccole potenze stazionarie per usi domestici o per piccole comunità.

La PEMFC è costituita da un'unità elettrochimica, tipicamente adatta ad essere impilata con altre analoghe secondo un arrangiamento modulare del tipo filtropressa comunemente denominato stack. Una PEMFC in generale comprende una membrana ionomerica (di tipo perfluorurato come noto nella tecnica e come commercializzato ad esempio da DuPont, USA sotto il trademark Nafion® o di tipo idrocarburico derivato da polimeri quali polistirene, polietereterchetoni), sulle cui



facce sono applicati due elettrodi, anodo (a polarità negativa) e catodo (a polarità positiva), sotto forma di film porosi contenenti opportuni catalizzatori. Le superfici esterne degli elettrodi sono a loro volta in contatto con strutture porose solitamente a sviluppo planare adatte a stabilire una conduzione elettrica ottimale e una distribuzione omogenea dei reattivi, ad esempio idrogeno e aria, note per questa duplice funzione indifferentemente come collettori o distributori. L'insieme complessivo risultante dall'unità elettrochimica associata ai collettori (definita nel seguito con la sigla MEA da Membrane Electrode Assembly) è infine racchiuso fra una coppia di piatti bipolari, costituiti da due lastre opportunamente sagomate, impervie nei confronti dei reattivi e dotate di conducibilità elettrica. Il combustibile e il comburenté sono alimentati attraverso opportune aperture ricavate nei piatti bipolari e sono distribuiti rispettivamente all'anodo e al catodo attraverso i collettori. Il combustibile, ad esempio idrogeno, viene ossidato con generazione di protoni ed elettroni. I protoni migrano attraverso la membrana ionomerica e partecipano alla reazione di riduzione dell'ossigeno dell'aria con formazione di acqua. Gli elettroni necessari alla reazione di riduzione provengono dall'anodo attraverso un circuito esterno di utilizzazione dell'energia elettrica. L'efficienza di conversione dell'energia chimica di reazione in energia elettrica, per quanto sostanzialmente superiore a quella dei generatori convenzionali, è largamente inferiore al 100%: la parte di energia chimica non convertita in energia elettrica viene dissipata come energia termica che deve essere sottratta con un adatto dispositivo di raffreddamento per mantenere la temperatura interna della PEMFC tipicamente intorno a 60-100°C. Il dispositivo di raffreddamento è preferibilmente ad aria forzata per i sistemi di piccola potenza e a circolazione di acqua demineralizzata per i sistemi di più alta potenza, in ragione della maggiore compattezza. Il raffreddamento è effettuato, ad



esempio, facendo fluire l'acqua lungo uno dei piatti bipolari che pertanto ha la forma di un guscio cavo a doppia parete. Un ulteriore provvedimento necessario per garantire il regolare funzionamento della PEMFC è rappresentato dalla preumidificazione dei reattivi. Lo scopo della preumidificazione è di alimentare nella PEMFC una certa quantità di acqua utile per mantenere l'idratazione della membrana al massimo livello, cui corrisponde la maggiore capacità di migrazione dei protoni e quindi la minore resistenza ohmica e la maggiore tensione di funzionamento.

Secondo la tecnologia nota i piatti bipolari che delimitano le PEMFC possono essere costruiti in grafite o più in generale con compositi grafite-polimero legante; in una alternativa largamente preferita, essi possono anche essere costruiti in metallo, preferibilmente acciaio inossidabile della famiglia cromo/nickel/molibdeno. Le correnti parassite causate dalle alte tensioni localizzate nei condotti interni degli stack percorsi dall'acqua inducono in questo caso una certa corrosione dell'acciaio inossidabile, localizzata in particolare sulle superfici del piatto che vengono a contatto con l'acqua di raffreddamento. Questa corrosione, che non è solitamente così intensa da provocare danni strutturali ai piatti bipolari, tuttavia conduce ad un progressivo arricchimento di ioni metallici, essenzialmente ioni  $\text{Ni}^{++}$ ,  $\text{Cr}^{+++}$  e  $\text{Fe}^{+++}$  nell'acqua circolante. L'arricchimento può essere limitato introducendo nel circuito dell'acqua di raffreddamento un filtro contenente resine a scambio cationico, la cui gestione introduce tuttavia certe complicazioni di funzionamento del sistema complessivo. In alternativa è possibile ridurre fortemente il rilascio di ioni metallici con l'impiego di acciai inossidabili altolegati dotati di maggiore resistenza alla corrosione. Gli acciai altolegati, caratterizzati da elevato contenuto di cromo, nickel e molibdeno, sono però costosi ed aumentano sostanzialmente l'investimento

*Mr*

richiesto per la costruzione dello stack. Ioni metallici sono anche rilasciati da componenti ausiliari del sistema complessivo, come il contenitore del filtro delle resine, i recipienti di raccolta dell'acqua circolante, i necessari scambiatori di calore, le varie tubazioni e i sensori di controllo. Questi componenti, tuttavia, non sono sottoposti alle elevate tensioni degli stack e che accelerano sensibilmente la dissoluzione dei metalli: pertanto il loro contributo all'arricchimento di ioni nell'acqua circolante è normalmente del tutto marginale. Val la pena di ricordare che i meccanismi di accelerato rilascio e di arricchimento di ioni metallici sono in parte operativi anche nei condotti degli stack percorsi dai gas di reazione e dai gas residui con varia intensità a seconda dell'estensione delle zone in cui si separa acqua liquida.

La grafite, pur essendo anch'essa soggetta ad attacco da parte delle correnti parassite, genera come prodotto di corrosione anidride carbonica e non dà luogo perciò ad arricchimento in ioni metallici se non ad un livello minimo corrispondente al suo contenuto di impurezze. Questo indubbio vantaggio è però più che bilanciato dal ridotto spessore dei piatti bipolari ottenibili con acciai inossidabili, ad esempio 0.1-0.5 mm, che permette di costruire stack molto compatti e dalla elevata tenacità propria in generale dei metalli che garantisce una resistenza agli shock meccanici e termici particolarmente soddisfacente.

Si è notato che gli stack costruiti con piatti bipolari in acciaio inossidabile manifestano un decadimento delle prestazioni delle PEMFC terminali dopo tempi variabili di funzionamento, dell'ordine di 200-300 ore. Questo decadimento è stato attribuito alla maggiore dispersione termica che caratterizza le PEMFC terminali, la cui temperatura può perciò essere inferiore a quella media delle PEMFC dello stack. La minore temperatura determina una eccessiva ~~condensazione~~ del vapore



My

d'acqua contenuto nei gas di reazione, cui consegue l'allagamento della porosità dei film catalitici. La presenza di acqua liquida nei pori dei film catalitici ostacola la diffusione dei gas reattivi verso i siti di reazione situati all'interfaccia con la membrana ionomerica. E' stato quindi proposto di inserire un elemento riscaldante in contatto con la superficie rivolta verso l'esterno di ciascuna PEMFC terminale: con un opportuno dispositivo di controllo è possibile aumentare la temperatura delle PEMFC terminali in modo da farla coincidere con la temperatura media delle altre PEMFC dello stack.

Un tipo alternativo di modifica consiste nel porre in contatto con la superficie esterna di ciascuna PEMFC terminale un apposito dispositivo di termostatazione a guscio cavo percorso da acqua in circolazione, secondo una costruzione analoga a quella adottata per il raffreddamento delle singole PEMFC: regolando opportunamente la temperatura dell'acqua circolante è possibile mantenere la temperatura delle PEMFC terminali ad un livello sufficiente ad impedire una dannosa condensazione di vapore d'acqua.

Una ulteriore proposta di meccanismo di decadimento delle prestazioni è basata sulla disomogenea distribuzione della corrente elettrica all'interno delle PEMFC terminali: come risoluzione è stato proposto un maggiorato dimensionamento dei contatti al circuito elettrico esterno.

Gli inventori hanno tuttavia verificato che i provvedimenti migliorativi proposti dalla tecnica nota sono solo in grado di ritardare la comparsa del decadimento delle prestazioni dello stack verso 500-1000 ore di funzionamento. In particolare, gli inventori hanno osservato che dopo questo migliorato periodo di funzionamento si manifesta un nuovo tipo di decadimento delle prestazioni limitato ad alcune PEMFC situate all'estremità lato terminale negativo dello stack. Sorprendentemente le





prestazioni delle PEMFC situate all'estremità lato terminale positivo, come anche della rimanente molteplicità di PEMFC che costituiscono lo stack, rimangono invariate su livelli del tutto soddisfacenti. Il decadimento delle prestazioni si manifesta come diminuzione progressiva delle tensioni delle PEMFC che nella fase terminale subiscono un'inversione di polarità estremamente distruttiva. Per evitare questa grave situazione è perciò necessario monitorare le PEMFC provvedendo tempestivamente a cortocircuitare quelle la cui tensione sia scesa al di sotto di un predeterminato valore critico. Si è anche notato che la cortocircuitazione tende ad aggravare il problema del decadimento delle PEMFC successive.

Il fatto che questi problemi si presentino più a lungo termine, anche in stack provvisti di dispositivi di riscaldamento delle PEMFC terminali, che il decadimento si aggravi sulle PEMFC più interne a seguito della cortocircuitazione e che il decadimento si verifichi solo sul lato del terminale negativo dello stack indica chiaramente che le analisi di guasto proposte dalla tecnica nota non sono certamente applicabili al tipo di decadimento osservato dagli inventori. Si può quindi concludere che la tecnica nota non è in grado di spiegare e quindi risolvere il decadimento a lungo termine delle prestazioni del pacchetto di PEMFC situate sul lato del terminale negativo di uno stack costruito con piatti bipolari in acciaio inossidabile.

È un obiettivo della presente invenzione fornire un disegno di stack di PEMFC costruite con piatti di acciaio inossidabile che superi le limitazioni dell'arte nota, eliminando i fenomeni di decadimento del pacchetto di PEMFC situate nelle adiacenze del terminale negativo dello stack.

#### L'INVENZIONE

Sotto un aspetto, l'invenzione consiste in un disegno di stack costruito con piatti



bipolari metallici mediante il quale è impedita la migrazione laterale all'interno delle membrane ionomeriche di ioni metallici contenuti nel fluido di raffreddamento.

In una realizzazione preferita, l'invenzione consiste in un disegno di stack costruito con piatti bipolari in acciaio inossidabile, preferibilmente del tipo AISI 316L (DIN X 2 CrNiMo 1712 o 1713, 16-18% cromo /10-14% nickel/2-3% molibdeno), in base al quale la migrazione di ioni metallici verso l'area attiva di membrana viene impedita facendo ricorso a membrane ionomeriche con dimensioni periferiche ridotte. In particolare, il perimetro deve risultare localizzato in una regione delle guarnizioni perimetrali di tenuta intermedia fra bordo dell'area attiva e circonferenza dei fori di alimentazione e scarico dell'acqua di raffreddamento. In alternativa, come materiale da costruzione è preferito l'uso di acciai inossidabili senza molibdeno ma con più alto tenore di nickel e cromo, come quelli della serie CrNi 2520 secondo normativa DIN (19-22% Ni, 24-26% Cr).

In un'altra realizzazione preferita, la migrazione laterale di ioni metallici verso l'area attiva di membrana è contrastata mediante l'utilizzo di membrane ionomeriche con dimensioni uguali a quelle dei piatti bipolari e con la periferia dei fori di alimentazione e scarico dell'acqua, ed eventualmente dei gas di reazione e dei gas residui, dotata di materiale non conduttivo e preferibilmente con caratteristiche elastiche, applicato sotto forma di guarnizioni piane o di O-ring o di film liquido polimerizzabile.

In un'ulteriore realizzazione preferita la presente invenzione risolve il problema della migrazione di ioni metallici verso l'area attiva di membrana rendendo uniforme il campo elettrico all'interno dei condotti di iniezione e scarico dell'acqua di raffreddamento sul lato del terminale negativo dello stack mediante l'installazione di un piatto bipolare privo di fori di alimentazione come piatto bipolare esterno

*Mr*

dell'ultima PEMFC.

L'invenzione sarà descritta nel seguito facendo ricorso alle figure allegate, che hanno mera funzione esemplificativa e non intendono limitarne in alcun modo lo scopo.

#### DESCRIZIONE RIASSUNTIVA DELLE FIGURE

- La figura 1 mostra uno schema in sezione di uno stack di PEMFC secondo l'arte nota;
- La figura 2 mostra separatamente i vari componenti della prima PEMFC dello stack della figura 1;
- La figura 3 mostra separatamente i vari componenti della prima PEMFC di uno stack relativo a una prima forma di realizzazione dell'invenzione;
- La figura 4 mostra separatamente i vari componenti della prima PEMFC di uno stack relativo a una seconda forma di realizzazione dell'invenzione;
- La figura 5 mostra la distribuzione delle correnti parassite nello stack delle figure 3 e 4;
- La figura 6 mostra separatamente i vari componenti della prima PEMFC di uno stack relativo a una terza forma di realizzazione dell'invenzione;
- La figura 7 mostra la distribuzione delle correnti parassite nello stack della figura 6.

#### DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELLE FIGURE

Con riferimento alla tecnica nota, rappresentata ad esempio da US 5,482,792, la figura 1 riporta una sezione longitudinale di uno stack di PEMFC in cui (1) identifica gli insiemi MEA ciascuno contenente le membrane ionomeriche (2), gli anodi (3), i catodi (4) e i collettori (5), (6) i piatti bipolari, (7) le singole PEMFC ciascuna comprendente un'unità MEA (1) racchiusa fra due piatti bipolari (6) provvisti di



*MM*

guarnizioni perimetrali di tenuta (8), (9) i dispositivi di raffreddamento costituiti da un guscio alimentato con acqua demineralizzata, delimitato da due contigui piatti bipolari (6), dotati di guarnizioni periferiche di sigillatura (10) e contenenti uno spaziatore conduttivo (11) diretto a mantenere la continuità elettrica longitudinale fra i due piatti bipolari contigui, (12) due lastre di materiale elettricamente conduttivo per il collegamento dello stack al circuito elettrico utilizzatore esterno, ciascuna in contatto con i piatti bipolari terminali tramite un elemento conduttivo (13) isolato dall'ambiente esterno per mezzo di una guarnizione (14). Inoltre (15) indica due piastre a bassa flessibilità che permettono di mantenere sotto compressione la molteplicità di PEMFC (7) e i dispositivi di raffreddamento (9) assicurando una bassa resistenza elettrica di contatto grazie all'azione di tiranti (16) dotati di rivestimento non conduttivo e distribuiti in opportuno numero lungo il perimetro delle piastre (15), dei piatti bipolari (6), delle lastre (12) e delle guarnizioni (8), (10) e (14), eventualmente dotati di molle (non mostrate in figura) per la compensazione delle dilatazioni/contrazioni termiche dei componenti dello stack, (17) un foglio di materiale non conduttivo per l'isolamento elettrico delle piastre (15) dallo stack, (18) le connessioni, situate sulla piastra (15) lato terminale positivo dello stack, ai circuiti esterni di alimentazione del gas combustibile e del gas comburente, ad esempio idrogeno e aria, di estrazione dei gas residui e dell'acqua prodotta, e di iniezione e scarico dell'acqua di raffreddamento. Il combustibile e il comburente, provenienti dai circuiti esterni attraverso le connessioni (18), vengono alimentati rispettivamente agli anodi e ai catodi grazie a canali distributori ricavati ad esempio nello spessore delle guarnizioni (8) e collegati a condotti longitudinali formati nello stack dall'impilamento di opportuni fori praticati nei vari componenti. In modo analogo l'acqua di raffreddamento viene iniettata nei dispositivi (9), si estraggono i



gas residui miscelati con l'acqua prodotta e si scarica l'acqua di raffreddamento.

Per una migliore comprensione i componenti della prima PEMFC situata sul lato terminale negativo e del relativo dispositivo di raffreddamento sono mostrati nella figura 2, in una successione da (a) a (p) corrispondente alla sequenza di impilamento. In particolare: (a) rappresenta in modo schematico la vista frontale della piastra di compressione (15) con i relativi fori (19) per il passaggio dei tiranti (16), (b) il foglio di materiale non conduttivo (17) preferibilmente dotato di caratteristiche elastiche, ad esempio gomma EPDM, diretto ad assicurare l'isolamento elettrico della piastra (15) dallo stack e anch'esso provvisto di fori (19) per il passaggio dei tiranti (16), (c) la lastra di collegamento (12) in materiale ad alta conducibilità elettrica, quale alluminio o rame, eventualmente dotata di rivestimento atto ad impedire un aumento nel tempo della resistenza elettrica di contatto, ad esempio una argentatura, anch'essa provvista di fori (19), (d) l'elemento conduttivo (13) avente dimensione uguale a quella dell'area attiva delle PEMFC, dotato di deformabilità ed elasticità residua per realizzare un contatto completo fra lastra (12) e primo piatto bipolare (6) anche in presenza di irregolarità superficiali o di piccole flessioni, (e) la guarnizione (14) diretta a isolare dall'ambiente esterno lo spazio contenente l'elemento (13) per prevenire eventuali peggioramenti della qualità del contatto in conseguenza di processi di ossidazione dovuti all'ossigeno e all'umidità dell'aria. In (f) è mostrata una vista frontale del primo piatto bipolare (6), dove con (20a) e (20b) sono indicati i fori destinati all'alimentazione del gas combustibile e del gas comburente, con (20c) e (20d) i fori di estrazione del gas comburente e del gas combustibile residui, con (20e) e (20f) i fori di iniezione e scarico dell'acqua di raffreddamento ed infine con (19) come già visto i fori per il passaggio dei tiranti (16). È da notare come proprio in corrispondenza delle superfici anulari dei fori



(20e) e (20f), in contatto con l'acqua di raffreddamento, si localizzano in particolare i fenomeni di corrosione che portano al decadimento delle PEMFC disposte nelle adiacenze del terminale negativo dello stack, come verrà spiegato più in dettaglio nel seguito. I fori (19) e da (20a) a (20f) compaiono anche nella prima guarnizione perimetrale di tenuta (8), schematizzata nella figura 2g, dove la parte centrale vuota (21) definisce la sede del primo collettore (5) rappresentato nella figura 2h sempre in una vista frontale. La faccia della guarnizione della figura 2g opposta rispetto all'osservatore viene posta in contatto con il primo piatto bipolare ed è dotata, oltre che dei fori indicati, di canali distributori (22) e (23) ricavati nello spessore e indicati con linee tratteggiate. I canali distributori (22) e (23) mettono in comunicazione rispettivamente i fori (20a) e (20d) con la parte centrale (21) della guarnizione in cui è alloggiato il primo collettore (5), a sua volta in contatto con il primo dei film porosi catalitici applicati alle facce delle membrane. In questo modo il gas combustibile, ad esempio idrogeno, è alimentato al collettore e da questo distribuito sul film poroso catalitico. Il gas residuo, insieme a eventuale acqua, è scaricato nel foro (20d). Nella figura 2i è schematizzata una membrana con applicato sulla parte centrale di entrambe le facce (area attiva, di cui una sola visibile) un film poroso catalitico avente dimensioni uguali a quelle dei collettori (5) e della parte centrale vuota (21) delle guarnizioni perimetrali di tenuta (8). Nella figura 2m è rappresentata la seconda guarnizione perimetrale di tenuta (8) dotata di fori (19) e da (20a) a (20f) come già visto nel caso della prima guarnizione.

La faccia della seconda guarnizione perimetrale (8) della figura 2l orientata verso l'osservatore è posta in contatto con il secondo piatto bipolare (6) ed è dotata di canali distributori (22) e (23) del tutto analoghi a quelli visti per la prima guarnizione, ma rispetto ad essi sfalsati (rappresentati con linea continua): i canali collegano



infatti i fori (20b) e (20c) alla parte centrale (21) della seconda guarnizione perimetrale contenente il secondo collettore (5) (schematizzato nella figura 2l), in contatto con il secondo film poroso catalitico applicato alla membrana. In questo modo il gas comburente, ad esempio aria, è alimentato attraverso i canali (22) al secondo collettore e da questo distribuito sul secondo film poroso catalitico. Il gas comburente residuo, miscelato all'acqua di reazione, viene scaricato dai canali (23) nel foro (20c) di estrazione.

Nella figura 2n è mostrata una vista frontale del secondo piatto bipolare (6) del tutto analogo al primo piatto bipolare di figura 2f. Le figure 2o e 2p rappresentano infine lo spaziatore conduttivo (11) e la guarnizione periferica di sigillatura (10) del dispositivo di raffreddamento. La guarnizione (10) è in particolare fornita di canali (24) e (25) di iniezione e scarico dell'acqua di raffreddamento.

L'impilamento degli elementi da figura 2f a figura 2p forma un modulo ripetitivo che costituisce una singola PEMFC con il relativo dispositivo di raffreddamento. Lo stack di figura 1 è costituito da una molteplicità di moduli ripetitivi, racchiusi fra le due piastre di compressione (15) e le due lastre di collegamento (12): la sovrapposizione dei vari fori da (20a) a (20f) determina la formazione di condotti longitudinali, ognuno provvisto di una connessione (18) per il collegamento ai circuiti esterni e ognuno, a seconda delle sue funzioni, collegato rispettivamente agli anodi o ai catodi o ai dispositivi di raffreddamento.

Da quanto detto è chiaro che i condotti longitudinali formati dalla sovrapposizione dei fori (20e) e (20f) in condizioni normali di funzionamento sono completamente riempiti dall'acqua di raffreddamento circolante che, a seconda del livello di conducibilità e sotto l'effetto della elevata tensione elettrica risultante dalla somma delle tensioni della molteplicità di PEMFC, consente il passaggio di una corrente



elettrica più o meno intensa, nota come corrente parassita o corrente dispersa. Questa corrente, che in pratica rappresenta una perdita di rendimento elettrico, viene minimizzata demineralizzando l'acqua di raffreddamento. Non è possibile azzerare completamente le correnti parassite poiché l'acqua circolante mantiene sempre una certa conducibilità in ragione dell'efficienza non completa della demineralizzazione e dell'arricchimento con ioni di varia origine.

Una situazione simile può comparire anche nei condotti di passaggio dei gas di reazione e dei gas residui formati dalla sovrapposizione dei fori (20a), (20b), (20c) e (20d): in questo caso le condizioni per il passaggio di piccole correnti parassite sono generate dalla presenza di acqua in fase liquida formata per condensazione del vapore di preumidificazione causata dalle dispersioni termiche dello stack verso l'ambiente circostante e per separazione di acqua di reazione dai gas residui.

La figura 3 mostra una prima forma di realizzazione dell'invenzione, dove le parti comuni a quelle del caso di riferimento di figura 2 sono indicate con gli stessi numeri di identificazione. Con (2) è indicata la membrana ionomerica il cui perimetro è localizzato in una regione della superficie delle guarnizioni perimetrali di tenuta compresa fra il bordo dell'area attiva e la circonferenza dei fori di alimentazione, iniezione, estrazione e scarico. Questa regione può essere piana sulla faccia in contatto con la membrana e quindi opposta alla faccia contenente i canali distributori (22), (23), (24) e (25): in alternativa essa può essere dotata di uno o più codoli o anelli con lo scopo di prevenire con maggiore sicurezza sia il rilascio verso l'ambiente esterno dei gas, dell'acqua prodotta e dell'acqua di raffreddamento sia il contatto dell'acqua di raffreddamento con il bordo delle membrane.

La figura 4 mostra i componenti della singola PEMFC in una seconda realizzazione



*mm*

dell'invenzione ove le parti invariate rispetto a quelle di figura 2 hanno gli stessi numeri di identificazione. Con (2) è indicata la membrana ionomerica con perimetro coincidente con quello dei piatti bipolari, dotata di fori per l'alimentazione, iniezione, estrazione e scarico con sezione maggiore rispetto a quella degli analoghi fori delle guarnizioni. La periferia dei fori delle membrane è dotata di anelli piani (26), ad esempio in EPDM. Sono ugualmente utilizzabili gomme EPM e in generale materiali polimerici a bassa durezza e con caratteristiche elastiche. L'obiettivo degli anelli (26) è quello di sigillare l'interfaccia di ogni coppia di guarnizioni di tenuta in corrispondenza dei fori per prevenire la possibilità sia di rilascio dei gas, dell'acqua prodotta e dell'acqua di raffreddamento verso l'esterno sia di contatto fra l'acqua di raffreddamento e le membrane. In alternativa gli anelli sono rimpiazzabili con O-ring. In ulteriore alternativa nella regione delle guarnizioni perimetrali di tenuta delimitata dalle circonferenze dei fori delle membrane e dei fori delle guarnizioni perimetrali viene applicato un film di materiale liquido polimerizzabile, ad opera di un catalizzatore o per irraggiamento UV o trattamento termico. Un materiale adatto è rappresentato da resine silconiche liquide, che mantengono una bassa durezza e una buona elasticità anche dopo completamento della polimerizzazione. E' anche possibile sostituire gli anelli, gli O - ring e il film di materiale polimerizzabile con codoli.

La figura 5 mostra uno schema di distribuzione, in senso radiale e longitudinale, delle correnti parassite emesse dalle superfici anulari dei fori di ogni piatto bipolare lungo una sezione longitudinale, lato terminale negativo dello stack, di uno dei condotti formati dalla ordinata sovrapposizione degli appositi fori (20e) e (20f) presenti sui piatti bipolari, sulle guarnizioni e sulle membrane, relativamente agli stack delle figure 3 e 4: con (27) sono indicate le correnti parassite emesse dalle

superfici anulari (28) dei fori dei piatti bipolari in contatto con l'acqua di raffreddamento, con (29) le superfici equipotenziali risultanti, e con numerazione già utilizzata i componenti comuni alle precedenti figure.

La figura 6 mostra i componenti della prima PEMFC lato terminale negativo in una terza forma di realizzazione dell'invenzione caratterizzata dal fatto di avere il primo piatto bipolare lato negativo completamente privo dei fori di alimentazione, iniezione, estrazione e scarico dei gas di reazione, dei gas residui e dell'acqua di raffreddamento.

La figura 7 mostra uno schema di distribuzione, in senso radiale e longitudinale, delle correnti parassite relative allo stack della figura 6.

#### ESEMPIO 1

Gli inventori, nel tentativo di risolvere il problema del decadimento delle prestazioni delle PEMFC localizzate sul lato del terminale negativo degli stack costruiti con piatti bipolari in acciaio inossidabile, hanno condotto una serie di sperimentazioni utilizzando stack del tipo rappresentato in figura 1, costituito da una molteplicità di cinquanta PEMFC intercalate ad altrettanti dispositivi di raffreddamento alimentati con acqua demineralizzata. L'acciaio inossidabile impiegato era del tipo denominato AISI 316L (DIN X2CrNiMo17 13 2, 16-18% cromo /10-14% nickel/2-3% molibdeno, carbonio  $\leq 0.03\%$ , percentuali minoritarie di silicio e manganese, il bilancio essendo rappresentato da ferro). Come membrana ionomerica si è invariabilmente utilizzato il tipo Nafion 112, fornito da DuPont, USA. I film porosi catalitici sono stati forniti da E-TEK Division, De Nora North America, USA e contenevano platino in quantità di  $1 \text{ mg/cm}^2$ .

Come collettori si sono impiegati materiali reticolati metallici, come descritto in US 5,482,792, rivestiti con uno strato chimicamente resistente in cromo.

*Handwritten signature*

Gli stack utilizzati nella sperimentazione si differenziavano nel disegno interno come indicato di seguito:

- stack A (riferimento secondo la tecnica nota): componenti come indicato nella figura 2. In particolare le membrane avevano dimensioni coincidenti con quelle dei piatti bipolari ed erano dotate di fori di alimentazione, iniezione, estrazione e scarico esattamente sovrapponibili agli analoghi fori presenti sui piatti bipolari e sulle guarnizioni perimetrali di tenuta
- stack B (prima realizzazione dell'invenzione): componenti delle singole PEMFC come mostrato in figura 3.
- stack C (seconda realizzazione dell'invenzione): componenti delle singole PEMFC come mostrato in figura 4.

Fra le due dimensioni adottate per le membrane, quella relativa allo stack B ha certamente il vantaggio di ridurre la quantità di materiale utilizzato che è particolarmente costoso. D'altra parte la dimensione di membrana impiegata nello stack C è probabilmente preferibile in quanto più compatibile con le procedure automatizzate di assemblaggio degli stack, poiché il perimetro coincidente con quello dei piatti bipolari e delle guarnizioni perimetrali di tenuta consente un rapido e preciso centraggio.

I tre stack sono stati dotati di elementi analoghi ai dispositivi di raffreddamento inseriti fra le lastre di collegamento elettrico e ciascuna delle due PEMFC esterne lato terminali negativo e positivo in modo da mantenere la loro temperatura a valori prossimi di quella delle rimanenti PEMFC.

I tre stack sono stati fatti funzionare a una temperatura di 70°C, misurata sull'uscita dei gas residui, con alimentazione di idrogeno puro (1.3 bar assoluti, preumidificazione a 70°C, eccesso stechiometrico del 20%) e di aria (1.2 bar



assoluti, preumidificazione a 60°C, eccesso stechiometrico del 50%). La corrente erogata su un banco di resistenze esterne corrispondeva ad una densità di 0.5 A/cm<sup>2</sup> riferita all'area attiva. Durante il funzionamento si sono monitorate le tensioni di tutte le PEMFC di ciascuno stack e si è provveduto ad effettuare la cortocircuitazione (cc) delle PEMFC con tensione  $\leq 0.2$  volt.

Nel seguito sono riportate per ogni stack le tensioni (Volt) delle prime otto PEMFC lato terminale negativo, le tensioni delle ultime tre PEMFC lato terminale positivo e la tensione media delle rimanenti PEMFC.

#### # stack A

100 ore [0.70, 0.72, 0.70, 0.69, 0.70, 0.70, 0.71, 0.71] [0.70, 0.72, 0.71] [0.71]

250 ore [0.69, 0.72, 0.70, 0.70, 0.69, 0.71, 0.71, 0.71] [0.70, 0.70, 0.71] [0.71]

500 ore [0.45, 0.55, 0.60, 0.65, 0.69, 0.71, 0.70, 0.71] [0.70, 0.71, 0.70] [0.71]

750 ore [0.20, 0.30, 0.45, 0.55, 0.60, 0.65, 0.70, 0.71] [0.70, 0.71, 0.70] [0.71]

1000 ore [cc, 0.25, 0.30, 0.40, 0.52, 0.60, 0.65, 0.71] [0.70, 0.71, 0.70] [0.71]

1250 ore [cc, cc, cc, 0.30, 0.40, 0.55, 0.60, 0.67] [0.70, 0.71, 0.70] [0.71]

1500 ore [cc, cc, cc, cc, 0.30, 0.35, 0.45, 0.55] [0.70, 0.70, 0.71] [0.71]

#### # stack B

100 ore [0.70, 0.70, 0.71, 0.69, 0.70, 0.71, 0.70, 0.69] [0.69, 0.71, 0.70] [0.70]

250 ore nessuna variazione significativa, oscillazione delle tensioni  $\leq 0.1$  volt

500 ore come sopra

750 ore come sopra

1000 ore come sopra

1250 ore come sopra

1500 ore come sopra

#### # stack C



100 ore [0.71, 0.69, 0.70, 0.72, 0.70, 0.70, 0.71, 0.71] [0.70, 0.70, 0.71] [0.71]

250 ore nessuna variazione significativa, oscillazione delle tensioni  $\leq 0.1$  volt

500 ore come sopra

1000 ore come sopra

1250 ore come sopra

1500 ore come sopra

L'analisi questi dati indica chiaramente che gli stack B e C sono in pratica immuni da decadimento delle prestazioni almeno nei tempi di sperimentazione adottati. Lo stack A al contrario ha presentato una instabilità grave delle prime celle lato terminale negativo già dopo circa 500 ore. Il decadimento delle tensioni è progressivo ed ha costretto gli operatori ad effettuare la cortocircuitazione (cc) quando la tensione delle singole PEMFC scendeva al di sotto della soglia critica fissata come già detto a 0.20 Volt. E' anche importante notare che la cortocircuitazione delle PEMFC con tensione gravemente compromessa ha accelerato il decadimento delle PEMFC più vicine, con una progressione apparentemente inarrestabile verso il centro dello stack. Le caratteristiche del decadimento delle tensioni permettono di escludere che la causa all'origine del problema sia la perdita termica verso l'ambiente o la distribuzione di corrente ad opera di lastre di collegamento ai circuiti elettrici esterni non correttamente dimensionate come proposto nelle analisi della tecnica nota. Se così fosse, infatti, il problema si presenterebbe solo sulla prima PEMFC e in ogni caso su entrambe le estremità, negativa e positiva, dello stack. Per chiarire il meccanismo di decadimento verificatosi sullo stack A gli inventori hanno condotto una serie di controlli sui componenti sia delle PEMFC cortocircuitate sia delle PEMFC ancora caratterizzate da corretto funzionamento. Il dato più rilevante è stato fornito dalle

analisi delle membrane che hanno mostrato significative differenze nel contenuto di ioni metallici. In tabella 1 sono riportati i contenuti medi in nickel e calcio rilevati nelle zone periferiche e centrali delle aree attive della prima PEMFC lato terminale negativo cortocircuitata (PEMFC 1), di una PEMFC non cortocircuitata ma prossima ad una PEMFC cortocircuitata (PEMFC 8) e di una PEMFC centrale (PEMFC 20):

TABELLA 1

PEMFC 1	zona periferica	zona centrale
Ni (mg/cm <sup>2</sup> )	12.9	12.7
Ca (mg/cm <sup>2</sup> )	0.4	0.5
PEMFC 8		
Ni (mg/cm <sup>2</sup> )	11.2	0.6
Ca (mg/cm <sup>2</sup> )	0.5	0.1
PEMFC 20		
Ni (mg/cm <sup>2</sup> )	0.3	0.1
Ca (mg/cm <sup>2</sup> )	0.1	0.1

Questi dati indicano chiaramente che il decadimento delle tensioni osservato sulle PEMFC è legato in modo diretto all'arricchimento delle membrane in ioni metallici che provengono dall'acqua di raffreddamento come indica la presenza di calcio. In effetti l'acqua di raffreddamento era caratterizzata dalla presenza di nickel (7.5 ppm) e di calcio (2 ppm), oltre che di altri inquinanti fra cui ferro e cromo.

Per quanto riguarda la sorprendente localizzazione dell'arricchimento nelle membrane delle PEMFC situate all'estremo dello stack sul lato terminale negativo, pur senza voler vincolare l'invenzione ad alcuna particolare teoria, si potrebbe supporre che la causa risieda nel profilo del potenziale elettrico esistente all'interno dei condotti di iniezione e scarico dell'acqua di raffreddamento.



Questo profilo deriva dalla distribuzione radiale e longitudinale delle correnti parassite emesse dalle superfici anulari dei fori di ogni piatto bipolare, come schematizzato in figura 5 relativamente alla zona adiacente il terminale negativo dello stack. La distribuzione delle linee di corrente e dei profili di potenziale è del tutto analoga nella sezione degli stesse condotti lato terminale positivo dello stack. L'emissione di corrente è massima nei primi piatti bipolari situati in corrispondenza dei terminali negativo e positivo dello stack (freccie più lunghe in figura 5) e si attenua progressivamente procedendo verso il centro dello stack (freccie più corte in figura 5). Ne consegue una distribuzione di potenziale elettrico caratterizzata da sostanziale uniformità nella zona dei condotti corrispondente alle PEMFC centrali e da una forte asimmetria nelle sezioni terminali. L'asimmetria, analoga dal punto di vista geometrico in entrambe le sezioni terminali dei condotti, porta alla formazione di un gradiente di potenziale che è massimo in corrispondenza della polarità negativa della PEMFC situata all'estremo dello stack lato terminale negativo e, al contrario, in corrispondenza della polarità positiva della PEMFC situata all'estremo opposto, lato terminale positivo. La somma del potenziale elettrico nei condotti con le tensioni delle singole PEMFC determina un gradiente elettrico trasversale nella membrana, che sul lato terminale negativo sembra favorire la migrazione ionica dall'acqua di raffreddamento verso la zona centrale della membrana, mentre sul lato terminale positivo sembra opporsi ad essa. Nella parte centrale dei condotti, dove la distribuzione del potenziale elettrico è sostanzialmente uniforme, non esisterebbe una particolare azione accelerante o ritardante della migrazione degli ioni, che pertanto potrebbero penetrare nella membrana principalmente per effetto della diffusione naturale, certamente molto lenta. Un meccanismo simile di penetrazione laterale di ioni nelle membrane è in linea di principio possibile anche





nei condotti di alimentazione ed estrazione dei gas di reazione preumidificati e dei gas residui contenenti l'acqua prodotta: tuttavia l'acqua condensata dai gas di reazione per effetto di perdite termiche è certamente presente solo sotto forma di gocce di limitata estensione, se la preumidificazione è condotta in modo corretto, e l'acqua prodotta dalla reazione occupa necessariamente una piccola porzione della sezione dei condotti di estrazione per non ostacolare il rilascio dei gas residui. Inoltre il contenuto in ioni nell'acqua condensata e nell'acqua di reazione è presumibilmente limitato. Pertanto il contributo alla migrazione di ioni nelle membrane è con ogni probabilità poco significativo.

#### ESEMPIO 2

Tenendo presente l'ipotesi sopra delineata di meccanismo di arricchimento ionico delle membrane, gli inventori hanno assemblato un nuovo stack, nel seguito stack D, del tutto analogo allo stack A, ma con la differenza che il primo piatto bipolare lato negativo era completamente privo dei fori di alimentazione, iniezione, estrazione e scarico dei gas di reazione, dei gas residui e dell'acqua di raffreddamento, come schematizzato in figura 6 che mostra i componenti della prima PEMFC lato terminale negativo dello stack D. Gli altri componenti (piatti bipolari ad esclusione del primo, guarnizioni, unità MEA, lastre di collegamento elettrico, piastre di compressione, tiranti) erano del tutto uguali a quelli utilizzati per la costruzione dello stack A. Lo stack D è stato fatto funzionare in modo del tutto analogo a quello degli stack A, B e C. Dopo 1500 ore non si è notato alcun decadimento significativo delle tensioni delle PEMFC che si sono mantenute indistintamente intorno al valore medio di 0.71 volt, con oscillazioni di circa 0.1 volt. L'analisi della membrana della prima PEMFC sul lato del terminale negativo dello stack ha mostrato un arricchimento di ioni del tutto marginale, senza particolari



distinzioni fra zona periferica e zona centrale. Senza voler vincolare la validità del ritrovato ad alcuna particolare teoria, gli inventori hanno ritenuto che l'utilizzazione del primo piatto bipolare senza fori abbia modificato il profilo del potenziale elettrico nei condotti rendendolo sostanzialmente uniforme già nella porzione corrispondente alla prima PEMFC lato terminale negativo dello stack, come indicato in figura 7. Pertanto, per quanto riguarda l'arricchimento in ioni metallici le PEMFC situate sul lato terminale negativo dello stack sono caratterizzate da un comportamento del tutto simile a quello delle PEMFC centrali, in cui la distribuzione del potenziale elettrico dei condotti è fisiologicamente uniforme.

Naturalmente l'adozione di un piatto bipolare senza fori sul lato terminale positivo dello stack non è fattibile, visto che verrebbe intercettata la circolazione dell'acqua di raffreddamento e dei gas di reazione e residui. Pertanto la distribuzione del potenziale elettrico risulta immutata e asimmetrica. Tuttavia questa situazione non è assolutamente negativa in quanto, come dimostrato dalla sperimentazione, la sovrapposizione del potenziale elettrico nei condotti con le tensioni delle PEMFC sul lato terminale positivo dello stack si oppone alla migrazione degli ioni metallici all'interno delle membrane.

L'uso di un solo piatto bipolare di disegno diverso da quello dei rimanenti piatti bipolari non comporta particolari complicazioni per l'assemblaggio degli stack. Inoltre, tenendo conto della necessità di automatizzare l'assemblaggio degli stack come richiesto necessariamente dalla produzione di massa, la soluzione basata sull'uso del primo piatto bipolare lato terminale negativo senza fori è probabilmente preferibile alle soluzioni precedentemente descritte per gli stack B e C.

E' evidente che con acqua totalmente priva di ioni metallici ogni inconveniente sarebbe eliminato: tuttavia con un sistema di raffreddamento a ciclo chiuso e con



parti metalliche in contatto con l'acqua (i piatti bipolari sotto l'effetto accelerante delle correnti parassite, le varie tubazioni, la pompa di circolazione, la strumentazione di controllo, gli scambiatori di calore e i serbatoi di accumulo) l'inevitabile rilascio di ioni metallici conduce ad un progressivo accumulo nell'acqua, che solo in parte può essere contrastato con l'inserimento di un filtro caricato con resine a scambio ionico. Poiché le analisi dell'acqua circolante hanno dimostrato che già livelli dell'ordine di poche ppm sono sufficienti a causare un decadimento inaccettabile delle tensioni in tempi relativamente ridotti, livelli inferiori di almeno un ordine di grandezza sono probabilmente necessari per garantire una soddisfacente stabilità di funzionamento. Simili livelli di concentrazione di ioni metallici in acqua non sono facili da mantenere con le resine a scambio ionico, a meno di non impiegare filtri largamente sovradimensionati con cicli di assorbimento/rigenerazione molto frequenti, due provvedimenti entrambi incompatibili con la gestione di sistemi PEMFC che al contrario deve essere semplificata per quanto possibile.

Come è evidente ad un esperto del settore, l'invenzione può essere praticata apportando altre variazioni o modifiche rispetto agli esempi citati.

È pertanto da intendersi che la precedente descrizione non intende limitare l'invenzione, la quale può essere utilizzata secondo diverse forme di realizzazione senza discostarsene dagli scopi, e la cui portata è univocamente definita dalle rivendicazioni allegate.

Nella descrizione e nelle rivendicazioni della presente domanda, la parola "comprendere" e le sue variazioni quali "comprendente" e "comprende" non sono intese ad escludere la presenza di altri elementi o componenti aggiuntivi.

*Mr*

## Rivendicazioni

1. Stack costituito da un arrangiamento modulare filtropressa comprendente una molteplicità di singole PEMFC e di dispositivi di raffreddamento, ciascuna PEMFC delimitata da una coppia di piatti bipolari metallici e comprendente membrane a scambio ionico e guarnizioni perimetrali di tenuta in forma di cornice atte ad alloggiare collettori di corrente all'interno della parte centrale vuota, i piatti bipolari e le guarnizioni dotati di aperture di passaggio che comprendono fori per l'alimentazione dei gas di reazione, per l'estrazione dei gas residui con i prodotti di reazione, per l'iniezione e lo scarico di un fluido di termostatazione, caratterizzato dal fatto che risulta impedita la migrazione laterale di ioni provenienti da detto fluido di termostatazione all'interno di dette membrane a scambio ionico.
2. Lo stack della rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che il piatto bipolare metallico più vicino al terminale negativo è privo di aperture di passaggio.
3. Lo stack della rivendicazione 1 caratterizzato dal fatto che detta migrazione laterale di ioni è impedita mediante un isolamento fisico delle membrane a scambio ionico dal fluido di termostatazione.
4. Lo stack di una delle rivendicazioni da 1 a 3 caratterizzato dal fatto che il materiale di costruzione dei piatti bipolari metallici è acciaio inossidabile contenente 16-26% di cromo, 10-22% di nickel, ed opzionalmente molibdeno.
5. Lo stack della rivendicazione 4 caratterizzato dal fatto che detto acciaio inossidabile è scelto tra AISI 316L e gli acciai della serie CrNi 2520 secondo DIN.
6. Lo stack di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che il fluido di termostatazione è acqua demineralizzata circolante in un circuito chiuso.
7. Lo stack di una qualsiasi delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal





fatto che il perimetro delle membrane a scambio ionico è situato in una regione intermedia delle guarnizioni perimetrali di tenuta compresa fra il bordo della parte centrale vuota e la circonferenza delle aperture di passaggio.

8. Lo stack della rivendicazione 7 caratterizzato dal fatto che le membrane a scambio ionico sono isolate dal fluido di termostatazione mediante elementi di tenuta situati in detta regione intermedia, opzionalmente comprendenti codoli o anelli.

9. Lo stack delle rivendicazioni precedenti caratterizzato dal fatto che le membrane a scambio ionico sono provviste di fori di passaggio combacianti con le aperture di passaggio delle guarnizioni e con sezione maggiore di quella di dette aperture, e che sono isolate dal fluido di termostatazione mediante elementi di tenuta situati tra i bordi di detti fori di passaggio delle membrane e le aperture di passaggio delle guarnizioni opzionalmente comprendenti codoli o anelli di materiale non conduttivo in forma di guarnizioni piane o di O-ring.

10. Lo stack della rivendicazione 9 caratterizzato dal fatto che detti anelli di materiale non conduttivo sono costituiti da gomme a bassa durezza, opzionalmente EPM o EPDM.

11. Lo stack della rivendicazione 9 caratterizzato dal fatto che detti anelli di materiale non conduttivo sono costituiti da un film liquido applicato al momento dell'assemblaggio dello stack e polimerizzato con catalizzatore contenuto nel film liquido, o per irraggiamento UV o trattamento termico.

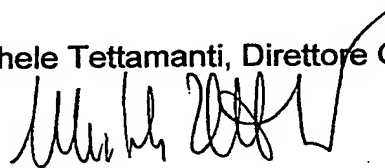
12. Lo stack della rivendicazione 11 caratterizzato dal fatto che detto film dopo polimerizzazione ha doti di elasticità e ridotta durezza.

13. Lo stack di una delle rivendicazioni 11 o 12 caratterizzato dal fatto che detto film liquido è costituito da un materiale polimerizzabile a base di resine siliconiche.

14. Stack sostanzialmente come descritto con riferimento alle figure allegate.

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale



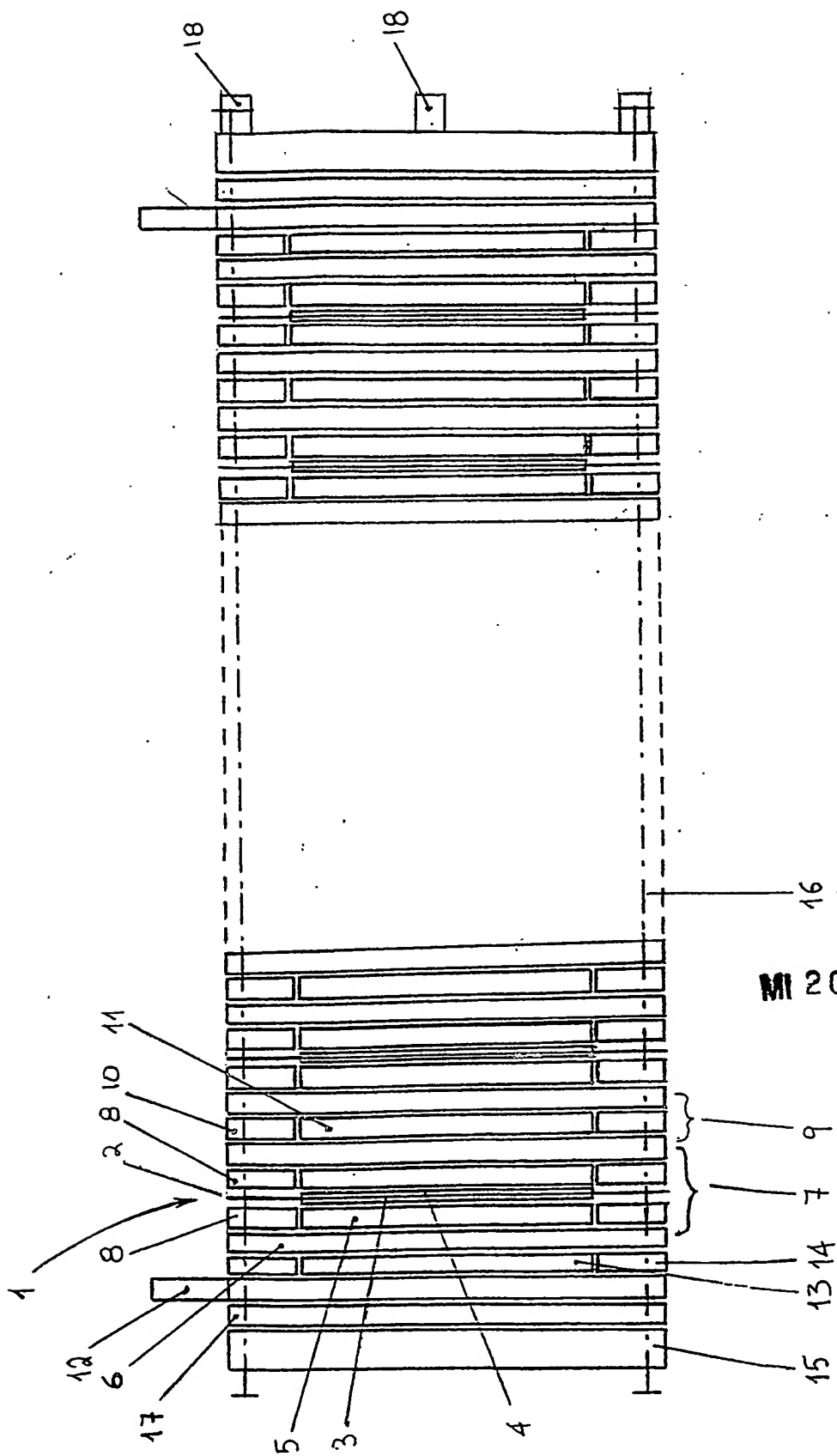


FIG. 1

MI 200 3 A 00 1 97 2



*M. Tettamanti*

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

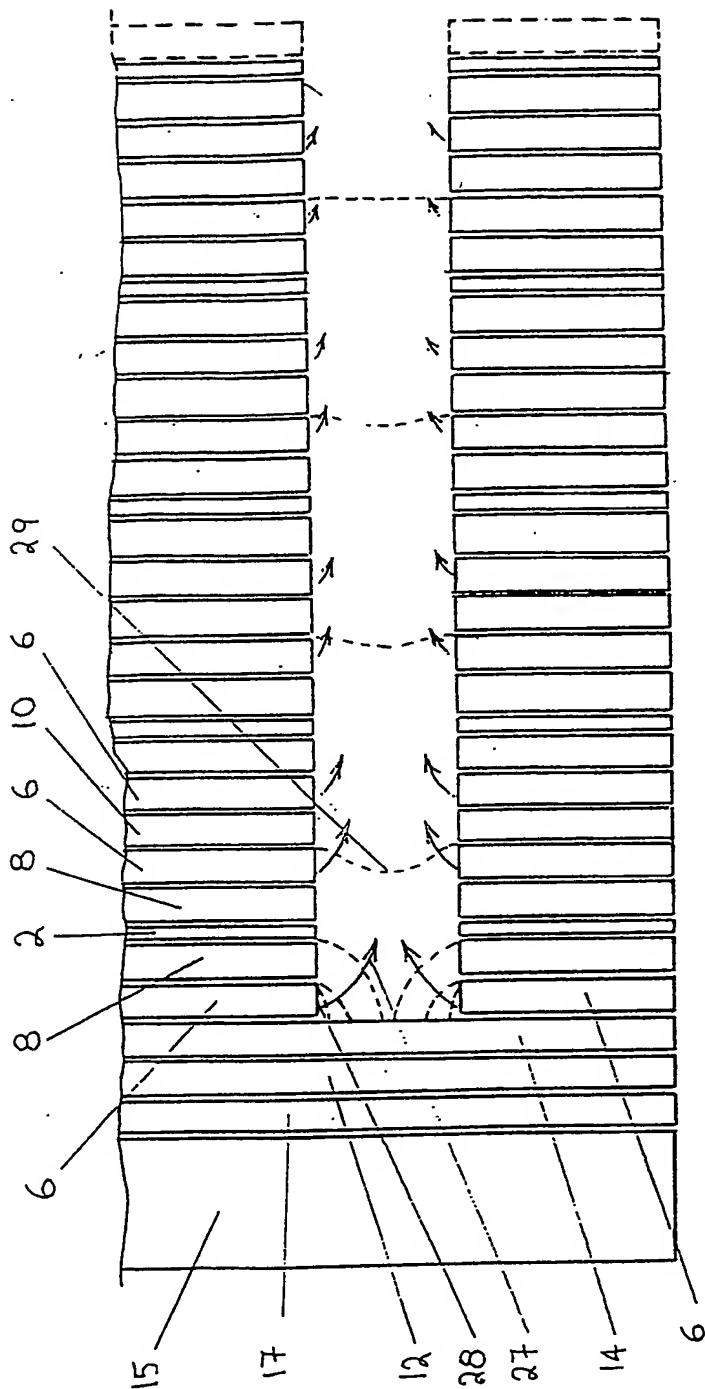


FIG. 5

MI 200 3 A 001 972

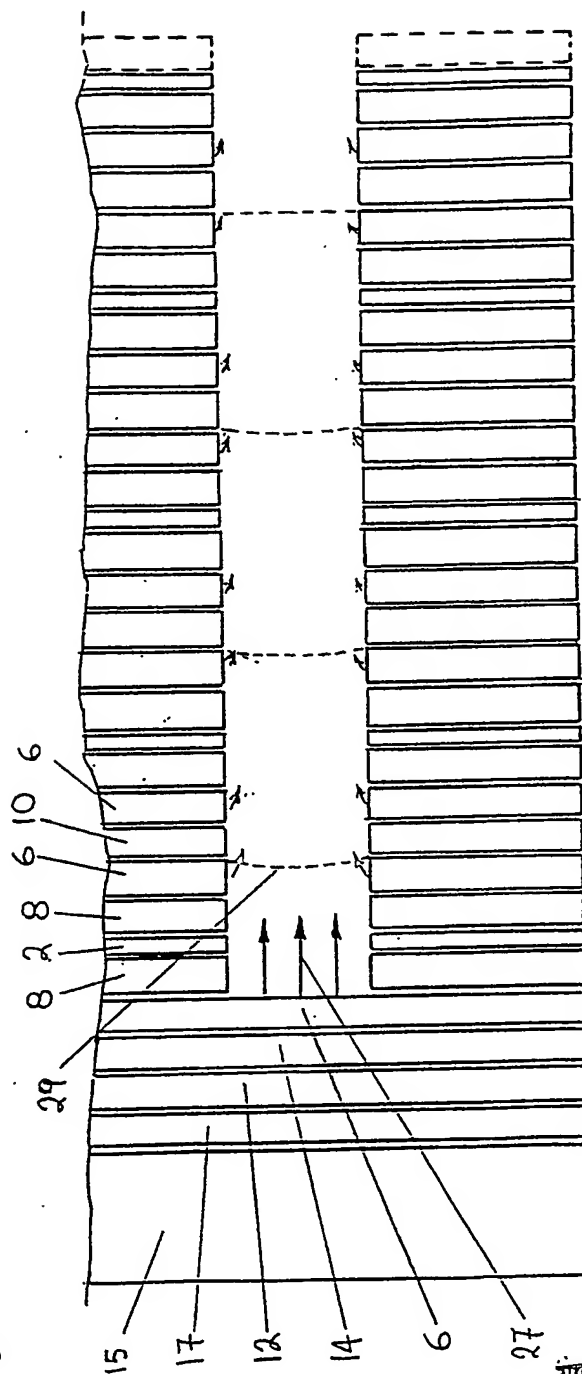
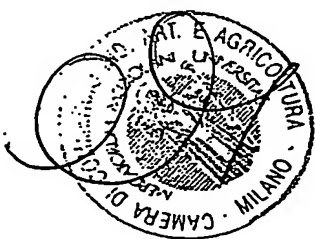


FIG. 7

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

*[Handwritten signature]*



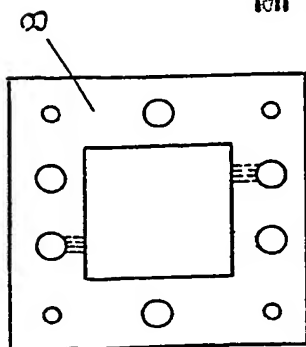
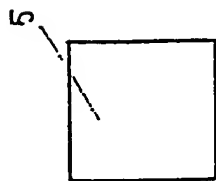
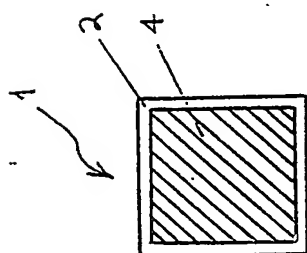
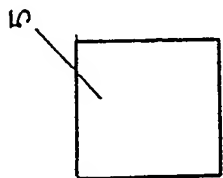
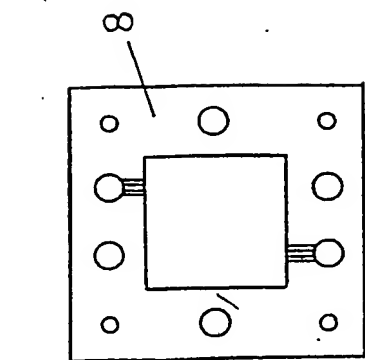


FIG. 3

200 3 A 0 0 1 9 7 2

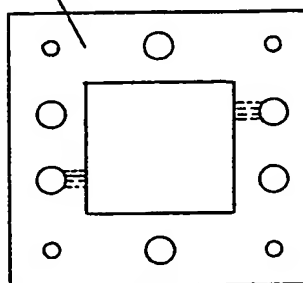
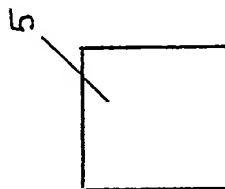
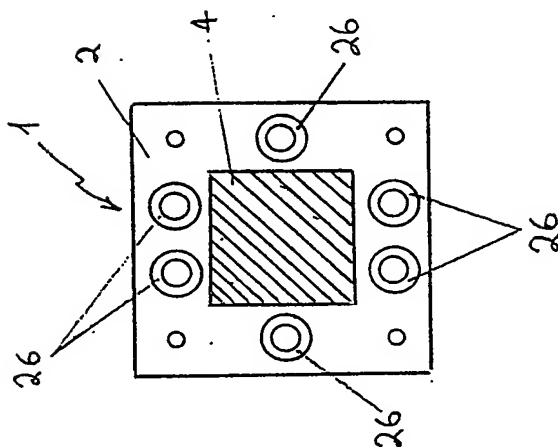
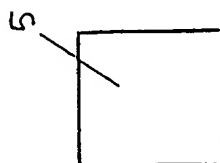
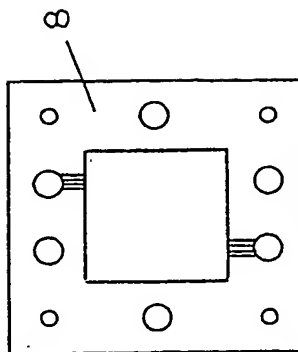
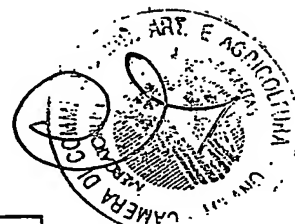


FIG. 4



*Michele Tettamanti*

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale



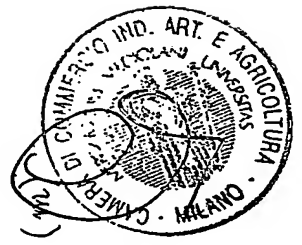
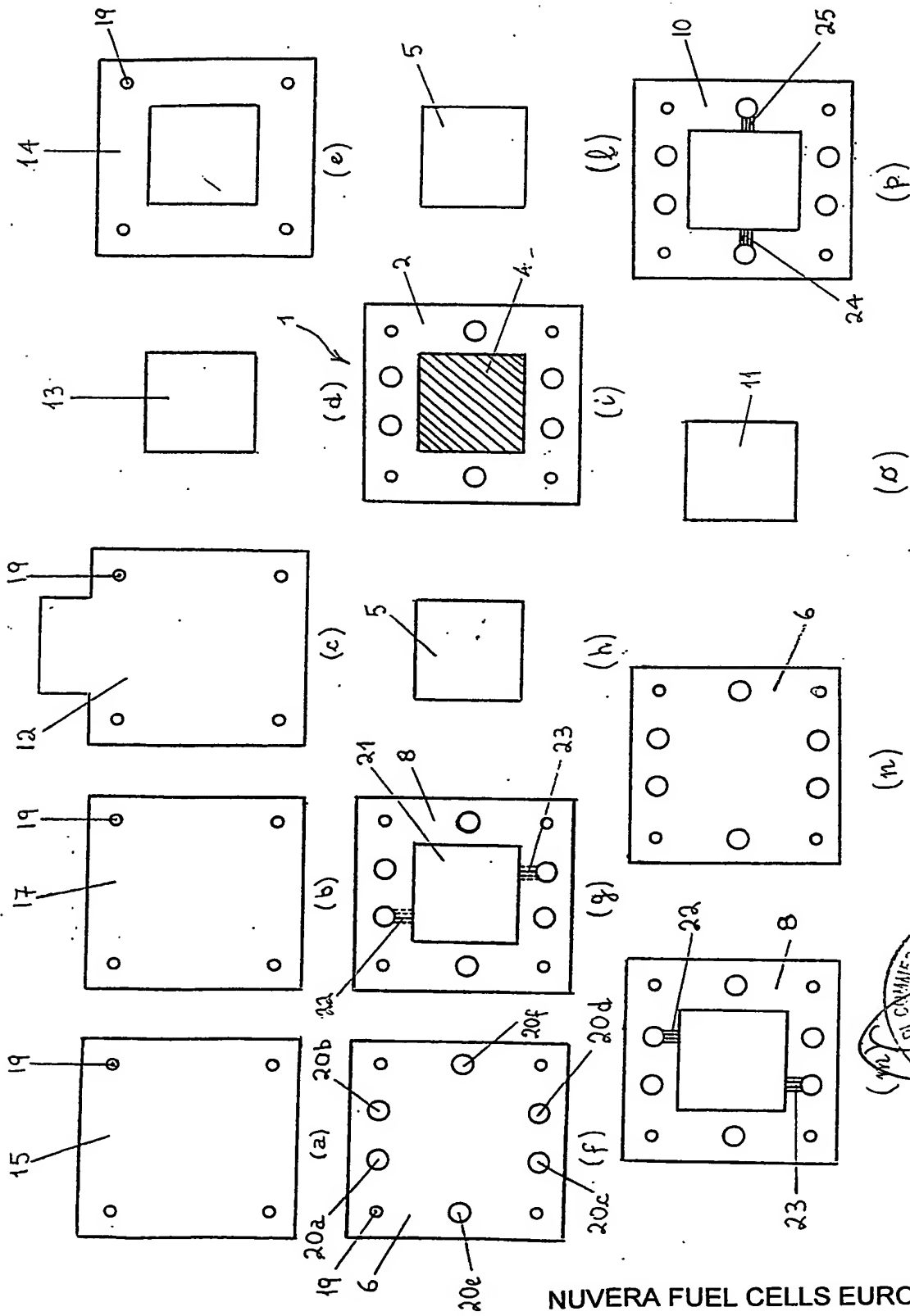


FIG. 2

NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

Handwritten signature of Michele Tettamanti.

MI 2003A001972

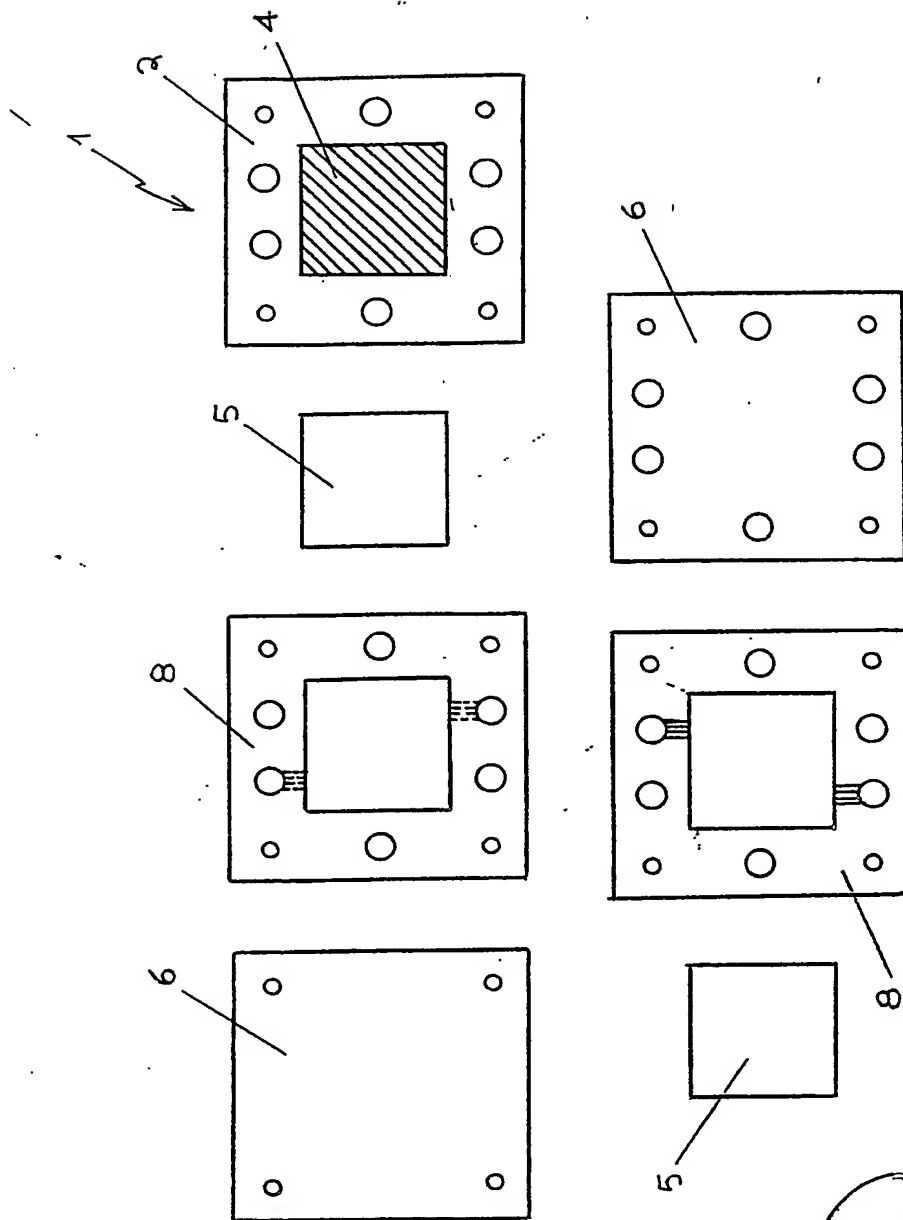
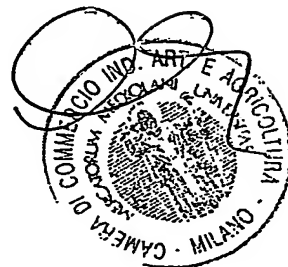


FIG. 6

MI 200 3 A 0 0 1 9 7 2



NUVERA FUEL CELLS EUROPE S.r.l.

Michele Tettamanti, Direttore Generale

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☐ **BLACK BORDERS**

☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**